

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-154068

(43)Date of publication of application : 08.06.2001

(51)Int.Cl.

G02B 6/42
 G02B 6/10
 G02B 6/17
 H01S 5/022
 H01S 5/14

(21)Application number : 2000-250025

(71)Applicant : FURUKAWA ELECTRIC CO LTD:THE

(22)Date of filing : 21.08.2000

(72)Inventor : OKI YASUSHI
 YAMAGUCHI TAKEJI
 IRIE YUICHIRO

(30)Priority

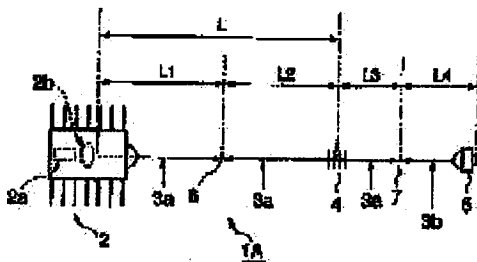
Priority number : 11262055 Priority date : 16.09.1999 Priority country : JP

(54) SEMICONDUCTOR LASER MODULE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a semiconductor laser module that oscillates stably, while a high mode suppression ratio is maintained by the oscillation mode of a semiconductor laser element having an external resonator.

SOLUTION: This semiconductor laser module 1A is such that the semiconductor laser element 2a and an optical fiber 3a are coupled optically by an optical coupling means 2b. The optical fiber 3a is provided with a reflection part 4 and a double refraction fiber 3a, which is installed from the incident end on the side of the optical coupling means 2b to at least immediately in front the reflection part 4. A connecting part 6 is provided at least at one place in the longitudinal direction of the double refraction fiber 3a with a connection made, so that the intrinsic axes of the two X and Y axes cross each other at a set angle of θ in the connecting part 6.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 10.12.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 15.06.2004

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3857868

[Date of registration]	22.09.2006
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]	2004-014678
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]	14.07.2004
[Date of extinction of right]	

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-154068

(P2001-154068A)

(43) 公開日 平成13年6月8日 (2001.6.8)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード*(参考)
G 0 2 B	6/42	G 0 2 B	6/42 2 H 0 3 7
	6/10		6/10 C 2 H 0 5 0
	6/17	H 0 1 S	5/022 5 F 0 7 3
H 0 1 S	5/022		5/14
	5/14	G 0 2 B	6/16 3 1 1
審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全 10 頁)			

(21) 出願番号 特願2000-250025 (P2000-250025)

(22) 出願日 平成12年8月21日 (2000.8.21)

(31) 優先権主張番号 特願平11-262055

(32) 優先日 平成11年9月16日 (1999.9.16)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

(72) 発明者 大木 泰

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

(72) 発明者 山口 武治

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

(74) 代理人 100093894

弁理士 五十嵐 清

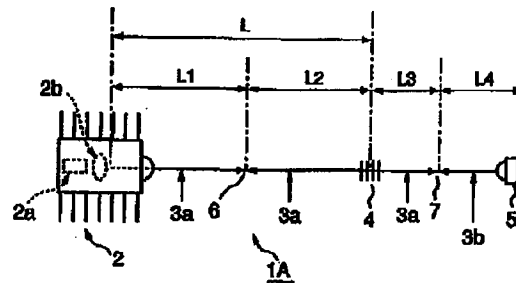
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体レーザモジュール

(57) 【要約】

【課題】 外部共振器を有する半導体レーザ素子の発振モードが高いモード抑圧比を保って安定に発振する半導体レーザモジュールを提供する。

【解決手段】 半導体レーザ素子2aと光ファイバ3aとが光結合手段2bによって光結合された半導体レーザモジュール1Aである。光ファイバ3aには反射部4と複屈折ファイバ3aとを設け、複屈折ファイバ3aは光結合手段2b側の入射端から少なくとも反射部4直前までに設ける。複屈折ファイバ3aの長手方向の少なくとも1ヶ所に接続部6を設け、接続部6で2つのX軸、Y軸の固有軸をそれぞれ互いに設定角度θで交差するように接続した半導体レーザモジュール。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体レーザ素子と光ファイバとが光結合手段によって光結合された半導体レーザモジュールであって、

前記光ファイバには、前記半導体レーザ素子から出射された光を前記半導体レーザ素子側に反射する反射部と、固有軸を有して複屈折性を備えた複屈折ファイバとが設けられ、該複屈折ファイバは前記光ファイバの光結合手段側の入射端から前記反射部直前までの間に設けられ、前記複屈折ファイバは、少なくとも1ヶ所に、複屈折ファイバ同士を接続してなる接続部を有しており、該接続部では、前記接続された複屈折ファイバの固有軸同士が互いに設定回転角度 θ だけずれた状態とされていることを特徴とする半導体レーザモジュール。

【請求項2】 前記接続部は、光ファイバの光結合手段側の入射端から反射部の中心までの長さを L としたとき、前記光結合手段側からの長さが $L/2 \pm L/3$ 以内の位置にあることを特徴とする請求項1記載の半導体レーザモジュール。

【請求項3】 前記設定回転角度 θ が、 $90^\circ \pm 10^\circ$ 以内であることを特徴とする請求項1または請求項2記載の半導体レーザモジュール。

【請求項4】 前記設定回転角度 θ が、 $45^\circ \pm 10^\circ$ 以内であることを特徴とする請求項1または請求項2記載の半導体レーザモジュール。

【請求項5】 前記反射部が、ファイバブラッググレーティングであることを特徴とする請求項1ないし請求項4のいずれか一つに記載の半導体レーザモジュール。

【請求項6】 前記反射部が、光コネクタで構成されていることを特徴とする請求項1ないし請求項4のいずれか一つに記載の半導体レーザモジュール。

【請求項7】 前記反射部が、ファイバ切断面で構成されていることを特徴とする請求項1ないし請求項4のいずれか一つに記載の半導体レーザモジュール。

【請求項8】 前記接続部が融着接続で構成されていることを特徴とする請求項1ないし請求項7のいずれか一つに記載の半導体レーザモジュール。

【請求項9】 前記複屈折ファイバは、コアに非軸対称性の応力を付与した光ファイバであって、その応力付与部が断面円形状であるバンダファイバ、断面扇状のボウタイファイバ、断面楕円状の楕円ジャケットファイバ、又はコアの導波構造を非軸対称にした光ファイバであって、コアを楕円にした楕円コア光ファイバのいずれかであることを特徴とする請求項1ないし請求項8のいずれか一つに記載の半導体レーザモジュール。

【請求項10】 前記光ファイバは、反射部の長手方向中心位置より光の伝送方向側に設けられた設定長さ L_3 の複屈折ファイバを有していることを特徴とする請求項1乃至請求項9のいずれか一つに記載の半導体レーザモジュール。

【請求項11】 前記光ファイバは、前記設定長さ L_3 の複屈折ファイバの先に接続された設定長さ L_4 の偏光無依存ファイバを有していることを特徴とする請求項10記載の半導体レーザモジュール。

【請求項12】 前記光ファイバの光結合手段側の入射端から前記反射部直前までの間に設けられた複屈折ファイバの入射端から接続部までの長さを L_1 、前記複屈折ファイバの接続部から前記反射部の中心位置までの長さを L_2 、 $|L_1 - L_2|$ を ΔL と定義すると、 $\Delta L \neq 0$ の時に、前記反射部の中心位置から光の伝送方向に設けられた複屈折ファイバの設定長さ L_3 は、 $1/\Delta L \leq 1/L_3$ であることを特徴とする請求項10または請求項11記載の半導体レーザモジュール。

【請求項13】 前記光ファイバは、反射部の中心位置から光の伝送方向に設けられた設定長さ L_3 の複屈折ファイバを有し、

光の発振波長を λ 、複屈折ファイバの複屈折量を Δn 、前記光ファイバの入射端から接続部までの長さを L_1 、複屈折ファイバの接続部から反射部の中心位置までの長さ L_2 とし、 L_1 、 L_2 、 L_3 又はそれらの加法減法すべての組み合わせから計算される量で、次式で定義される量を L_x としたとき、

$$L_x = |P_1 L_1 \pm P_2 L_2 \pm P_3 L_3|$$

$$(P_i = 0 \text{ or } 1, \sum P_i \neq 0, i = 1, 2, 3)$$

発振スペクトルが $\lambda^2 / (2 \cdot \Delta n \cdot L_x)$ で表す全てのピーク間隔を持たないことを特徴とする請求項1ないし請求項12のいずれか一つに記載の半導体レーザモジュール。

【請求項14】 半導体レーザ素子と光ファイバとが光結合手段によって光結合された半導体レーザモジュールであって、

前記光ファイバには、前記半導体レーザ素子から出射された光を前記半導体レーザ素子側に反射する反射部と、複屈折性を備えた複屈折ファイバとが設けられ、該複屈折ファイバは前記光ファイバの光結合手段側の入射端から前記反射部直前までの間に設けられ、

前記複屈折ファイバの互いに屈折率が異なる2つの直交する固有軸をそれぞれX軸、Y軸としたとき、前記半導体レーザ素子から出た光が、光ファイバに入射し反射部で反射されて入射端に戻って来た際に、X軸偏光で入射しX軸偏光で戻ってきた光とY軸偏光で入射しY軸偏光で戻ってきた光の位相差の値 $\Delta\phi$ が、少なくとも、光ファイバにおける光結合手段側の入射端から反射部の中心までの長さ L 、光ファイバの複屈折量 Δn 、発振波長 λ から導かれる $4\pi \cdot \Delta n \cdot L / \lambda$ の値より小さくなるよう設定されていることを特徴とする半導体レーザモジュール。

【請求項15】 半導体レーザ素子と光ファイバとが光結合手段によって光結合された半導体レーザモジュールであって、

前記光ファイバには、前記半導体レーザ素子から出射された光を前記半導体レーザ素子側に反射する反射部と、複屈折性を備えた複屈折ファイバとが設けられ、該複屈折ファイバは前記光ファイバの光結合手段側の入射端から前記反射部までの間に設けられ、前記複屈折ファイバの互いに屈折率が異なる2つの直交する固有軸をそれぞれX軸、Y軸としたとき、前記半導体レーザ素子から出た光が、光ファイバに入射し反射部で反射されて入射端に戻って来た際に、X軸偏光で入射しX軸偏光で戻ってきた光とY軸偏光で入射しY軸偏光で戻ってきた光の位相差の値 $\Delta\phi$ が、半導体レーザ（素子）の屈折率 n_{L0} 、半導体レーザ（素子）共振器長 L_{L0} 、発振波長 λ から導かれる $4\pi \cdot n_{L0} \cdot L_{L0} / \lambda$ の値より大きいことを特徴とする半導体レーザモジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体レーザモジュールに関し、特に発振状態の安定した外部共振器を構成する半導体レーザモジュールに関する。

【0002】

【従来の技術】近年、半導体レーザは、光通信の分野において信号用光源や光ファイバ増幅器の励起用光源として大量に用いられるようになってきた。半導体レーザを光通信の信号用光源や励起用光源として用いる場合、半導体レーザ（半導体レーザ素子）からのレーザ光を、光結合手段によって光ファイバに光学的に結合させるデバイスである半導体レーザモジュールとして使用される場合が多い。

【0003】この半導体レーザモジュールは、半導体レーザ素子から出射される光の波長を安定させるために、例えば、半導体レーザ素子の光をファイバブラッググレーティング（以下単にFBGという）によって光帰還させている。

【0004】しかし、FBGにより外部共振器を構成した場合、光ファイバの形状状態、例えば巻き方によって帰還光の偏光状態が半導体レーザの増幅可能な偏波方向とは異なる成分を持つことがあり、光の帰還量が実効的に変化し、結果として発振状態が変化してしまうことがある。

【0005】この対策として、前記光ファイバとして複屈折ファイバを使用することが考えられる。複屈折ファイバによれば偏波面が保持され、光帰還量をほぼ一定に保つことができ、光ファイバの巻き方等の形状状態の変化に起因する発振状態の変動を抑制することが可能となる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかし、複屈折ファイバを使用すると、スペクトル上に等間隔のピークが立ち、発振状態が時間的に不安定になるという悪影響を及

ぼすことがわかった。

【0007】ここで、光ファイバにおける光結合手段側の入射端から反射部の中心までの長さを L 、光ファイバの複屈折量を Δn 、発振波長を λ とすると、複屈折ファイバの特性として、固有軸であるX軸、Y軸間における光の伝搬定数が異なるため、光がFBGから反射されて戻ってきたときに、それぞれの固有軸を伝搬した光の間で位相差 $4\pi \cdot \Delta n \cdot L / \lambda$ が生じる。

【0008】一方、半導体レーザ素子は、TE (transverse electric) モードで発振しているが、非常に極僅かではあるがTM (transverse magnetic) モードも存在する。また、複屈折ファイバの固有軸が半導体レーザ素子のTEモードの方向と僅かにずれてモジュールに固定された場合、複屈折ファイバ中にはX軸、Y軸両方の光が入射されていることになる。また、複屈折ファイバの固有軸間のクロストークも完全に0となることは有り得ない。

【0009】以上のような要因によって僅かにでもX軸、Y軸の両軸に光が入射され、それぞれの光が伝搬したときの位相差により干渉を起こした光が、増幅可能な偏波方向で半導体レーザ素子に帰還されると、スペクトル上に $\lambda^2 / (2 \cdot \Delta n \cdot L)$ 間隔のピークが立つことになると推量される。

【0010】このような余分なピークは、上記FBG付き半導体レーザ素子の発振状態に時間的不安定性を引き起こす悪影響を及ぼす原因の一つになっていた。

【0011】図6は従来の半導体レーザモジュール10の概要図である。図6において、半導体レーザモジュール10は、パッケージ12内に半導体レーザ素子12aとレンズ等からなる光結合手段12bを有している。また、パッケージ12内には、半導体レーザ素子12aから出射された光を、光結合手段12bを介して受光する複屈折ファイバからなる光ファイバ13aの一端（入射端）側が配置され、パッケージ12の外に延出されている。光ファイバ13aの他端側には光コネクタ15が設けられている。14は光ファイバ13a内に設けられ外部共振器を構成するFBGである。

【0012】図7は、半導体レーザモジュール10の出力強度と発振波長の関係を示す説明図である。図7に示す通り、FBGの反射中心波長 λ_{FBG} で高いモード抑圧比を確保して安定発振することができず、 $\lambda^2 / (2 \cdot \Delta n \cdot L)$ 間隔のピークが現れていることが分かる。

【0013】本発明は、このような従来の半導体レーザモジュールの不安定な発振状態の問題を解決するためになされたものであり、その目的は、巻き方等の形状状態の変動にかかわらず安定した発振状態が得られる半導体レーザモジュールを提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明は次のような構成をもって課題を解決する手

段としている。すなわち、本第1の発明の半導体レーザモジュールは、半導体レーザ素子と光ファイバとが光結合手段によって光結合された半導体レーザモジュールであって、前記光ファイバには、前記半導体レーザ素子から出射された光を前記半導体レーザ素子側に反射する反射部と、固有軸を有して複屈折性を備えた複屈折ファイバとが設けられ、該複屈折ファイバは前記光ファイバの光結合手段側の入射端から前記反射部直前までの間に設けられ、前記複屈折ファイバは、少なくとも1ヶ所に、複屈折ファイバ同士を接続してなる接続部を有しており、該接続部では、前記接続された複屈折ファイバの固有軸同士が互いに設定回転角度 θ だけずれた状態とされている。なお、前記固有軸は互いに屈折率が異なる。

【0015】また、本第2の発明の半導体レーザモジュールは、上記本第1の発明の構成に加え、前記接続部は、光ファイバの光結合手段側の入射端から反射部の中心までの長さを L としたとき、前記光結合手段側からの長さが $L/2 \pm L/3$ 以内の位置にある構成をもって課題を解決する手段としている。

【0016】また、本第3の発明の半導体レーザモジュールは、上記本第1または本第2の発明の構成に加え、前記設定回転角度 θ が、 $90^\circ \pm 10^\circ$ 以内である構成をもって課題を解決する手段としている。

【0017】また、本第4の発明の半導体レーザモジュールは、上記本第1または本第2の発明の構成に加え、前記設定回転角度 θ が、 $45^\circ \pm 10^\circ$ 以内である構成をもって課題を解決する手段としている。

【0018】また、本第5の発明の半導体レーザモジュールは、上記本第1ないし本第4のいずれか一つの発明の構成に加え、前記反射部が、ファイバブラッググレーティングである構成をもって課題を解決する手段としている。

【0019】また、本第6の発明の半導体レーザモジュールは、上記本第1ないし本第4のいずれか一つの発明の構成に加え、前記反射部が、光コネクタで構成されている構成をもって課題を解決する手段としている。

【0020】また、本第7の発明の半導体レーザモジュールは、上記本第1ないし本第4のいずれか一つの発明の構成に加え、前記反射部が、ファイバ切断面で構成されている構成をもって課題を解決する手段としている。

【0021】また、本第8の発明の半導体レーザモジュールは、上記本第1ないし本第7のいずれか一つの発明の構成に加え、前記接続部が融着接続で構成されている構成をもって課題を解決する手段としている。

【0022】また、本第9の発明の半導体レーザモジュールは、上記本第1ないし本第8のいずれか一つの発明の構成に加え、前記複屈折ファイバは、コアに非軸対称性の応力を付与した光ファイバであって、その応力付与部が断面円形状であるバンダファイバ、断面扇状のボウタイファイバ、断面楕円状の楕円ジャケットファイバ、

又はコアの導波構造を非軸対称にした光ファイバであって、コアを楕円にした楕円コア光ファイバのいずれかである構成をもって課題を解決する手段としている。

【0023】また、本第10の発明の半導体レーザモジュールは、上記本第1ないし本第9のいずれか一つの発明の構成に加え、前記光ファイバは、反射部の長手方向中心位置より光の伝送方向側に設けられた設定長さ L_3 の複屈折ファイバを有している構成をもって課題を解決する手段としている。

10 【0024】また、本第11の発明の半導体レーザモジュールは、上記本第10の発明の構成に加え、前記光ファイバは、前記設定長さ L_3 の複屈折ファイバの先に接続された設定長さ L_4 の偏光無依存ファイバを有している構成をもって課題を解決する手段としている。

【0025】また、本第12の発明の半導体レーザモジュールは、上記第10または第11の発明の構成に加え、前記光ファイバの光結合手段側の入射端から前記反射部直前までの間に設けられた複屈折ファイバの入射端から接続部までの長さを L_1 、前記複屈折ファイバの接続部から前記反射部の中心位置までの長さを L_2 、 $|L_1 - L_2|$ を ΔL と定義すると、 $\Delta L \neq 0$ の時に、前記反射部の中心位置から光の伝送方向に設けられた複屈折ファイバの設定長さ L_3 は、 $1/\Delta L \leq 1/L_3$ である構成をもって課題を解決する手段としている。

【0026】また、本第13の発明の半導体レーザモジュールは、上記本第1ないし本第12のいずれか一つの発明の構成に加え、前記光ファイバは、反射部の中心位置から光の伝送方向に設けられた設定長さ L_3 の複屈折ファイバを有し、光の発振波長を λ 、複屈折ファイバの複屈折量を Δn 、前記光ファイバの入射端から接続部までの長さを L_1 、複屈折ファイバの接続部から反射部の中心位置までの長さとし、 L_1 、 L_2 、 L_3 又はそれらの加法減法すべての組み合わせから計算される量で、次式で定義される量を L_x としたとき、

$$L_x = |P_1 L_1 \pm P_2 L_2 \pm P_3 L_3|$$

$$(P_i = 0 \text{ or } 1, \sum P_i \neq 0, i = 1, 2, 3)$$

発振スペクトルが $\lambda^2 / (2 \cdot \Delta n \cdot L_x)$ で表す全てのピーク間隔を持たない構成をもって課題を解決する手段としている。

40 【0027】また、本第14の発明の半導体レーザモジュールは、半導体レーザ素子と光ファイバとが光結合手段によって光結合された半導体レーザモジュールであって、前記光ファイバには、前記半導体レーザ素子から出射された光を前記半導体レーザ素子側に反射する反射部と、複屈折性を備えた複屈折ファイバとが設けられ、該複屈折ファイバは前記光ファイバの光結合手段側の入射端から前記反射部直前までの間に設けられ、前記複屈折ファイバの互いに屈折率が異なる2つの直交する固有軸をそれぞれX軸、Y軸としたとき、前記半導体レーザ素子から出た光が、光ファイバに入射し反射部で反射され

て入射端に戻って来た際に、X軸偏光で入射しX軸偏光で戻ってきた光とY軸偏光で入射しY軸偏光で戻ってきた光の位相差の値 $\Delta\phi$ が、少なくとも、光ファイバにおける光結合手段側の入射端から反射部の中心までの長さL、光ファイバの複屈折量 Δn 、発振波長 λ から導かれる $4\pi \cdot \Delta n \cdot L / \lambda$ の値より小さくなるよう設定されている構成をもって課題を解決する手段としている。

【0028】また、本第15の発明の半導体レーザモジュールは、半導体レーザ素子と光ファイバとが光結合手段によって光結合された半導体レーザモジュールであって、前記光ファイバには、前記半導体レーザ素子から出射された光を前記半導体レーザ素子側に反射する反射部と、複屈折性を備えた複屈折ファイバとが設けられ、該複屈折ファイバは前記光ファイバの光結合手段側の入射端から前記反射部までの間に設けられ、前記複屈折ファイバの互いに屈折率が異なる2つの直交する固有軸をそれぞれX軸、Y軸としたとき、前記半導体レーザ素子から出た光が、光ファイバに入射し反射部で反射されて入射端に戻って来た際に、X軸偏光で入射しX軸偏光で戻ってきた光とY軸偏光で入射しY軸偏光で戻ってきた光の位相差の値 $\Delta\phi$ が、半導体レーザ（素子）の屈折率 n_{LO} 、半導体レーザ（素子）共振器長 L_{LO} 、発振波長 λ から導かれる $4\pi \cdot n_{LO} \cdot L_{LO} / \lambda$ の値より大きい構成をもって課題を解決する手段としている。

【0029】かかる構成の本発明の半導体レーザモジュールによれば、発振状態の安定化のために、光が複屈折ファイバに入射し反射部から戻ってきた時点で、複屈折ファイバの固有軸間の位相差（以下、単に位相差という）を操作することにより目的を達成する。

【0030】本発明では、複屈折ファイバの固有軸を外部共振器の途中（接続部）で設定角度 θ だけ回転させる、光ファイバ長手方向における接続部の位置を適切に調整する、という2つの具体的操作により位相差を操作し、その結果として発振状態の安定化を図っている。

【0031】複屈折ファイバの軸を回転して接続することは、光の位相を操作するのみであり、本来の偏波保持の効果は失われないので光帰還量は一定に保たれる。

【0032】ただし位相差があると、該位相差を生み出す原因となっている、外部共振器の一部を構成している光ファイバの部分的な長さ L_x に対応して、発振スペクトル上に $\lambda^2 / (2 \cdot \Delta n \cdot L_x)$ の間隔のピークが立つことになる。なお、 λ は外部共振器の発振波長、 Δn は複屈折ファイバの固有軸同士の屈折率差（以下、複屈折量という）である。

【0033】そこで、本発明では、位相差を小さくすることによって、このピーク間隔を非常に広く、例えば半導体レーザ素子のゲインスペクトルより広く、またはFBGを用いた場合にはその反射スペクトルの半値幅より広くすることにより、発振スペクトルに現れるピークをなくす若しくは非常に小さくする。好ましくは位相差を

無くすことができれば、ピーク間隔が無限大となり、実質的にはピークが存在しないことになるので、外部共振器の発振状態は安定する。

【0034】逆に位相差を非常に大きくして、半導体レーザ素子の共振器長 L_{LO} から計算される縦モード間隔 $\lambda^2 / (2 \cdot n_{LO} \cdot L_{LO})$ よりもピーク間隔を狭くすることにより、位相差の発振状態に対する影響を少なくすることもできる。

【0035】ここで、外部共振器の一部を構成している複屈折ファイバの midpoint で複屈折ファイバの軸を互いに90度回転させて接続することにより、ほとんど位相差がなくなる。

【0036】ただし、この方法において、光ファイバに接続部を形成するので、接続部での反射を考慮することが好ましい。接続部を無反射にすることは事実上不可能であるし、無反射で無い限りどんなに小さい反射でも固有軸間の位相に影響がないとは言えないからである。

【0037】また、反射部としてFBGを用いると、位相変化を伴う複素振幅反射率を考慮しなくてはならないので位相条件も単なる反射面とは異なる。つまり、外部共振器を構成する複屈折ファイバの midpoint に接続部を設けると、以上の理由から、実際には、位相差は0とはなり得ない。

【0038】このような場合、外部共振器を構成する複屈折ファイバの長さをL、複屈折ファイバの入射端から接続部までの長さをL1、該複屈折ファイバの接続部から前記反射部の中心位置までの長さをL2としたときに、 $L = L1 + L2$ 、 $L1 = L2 = L/2$ の条件ではなく、L1とL2の大きさを適切に変えることによって半導体レーザ素子に戻る光の位相状態を操作することが可能となる。

【0039】また、FBGより光伝送方向側の光ファイバ端面からの反射を考慮する場合、L1、L2だけでなく、 $\Delta L = |L1 - L2|$ とL3の関係も最適化する必要がある。 $\Delta L \neq 0$ のときは、L3によっておこるピーク間隔 $\lambda^2 / (2 \cdot \Delta n \cdot L3)$ が、 ΔL による間隔 $\lambda^2 / (2 \cdot \Delta n \cdot \Delta L)$ よりも広ければ影響が小さい。つまり $1/\Delta L \leq 1/L3$ となるようにL3を選択すればよいことになる。

【0040】以上のように、本発明ではL1、L2、L3を適切に選ぶことにより、 L_x から計算される全ての波長間隔のピークをさらに最適に抑制し、安定に外部共振器を発振させることが可能となる。

【0041】また、FBGのない複屈折ファイバ付き半導体レーザモジュールも実用上重要である。半導体レーザモジュールは様々な地点からの反射に非常に敏感であり、FBGがない場合でもコネクタや光ファイバの切断面を波長選択性のない外部帰還部分とみなすことができる。光ファイバの切断面は光ファイバの長手方向に対し垂直あるいは斜めカットされてもよい。

【0042】本発明によれば、コネクタや光ファイバの切断面の反射が影響するような状況であっても、上記のような適切な外部共振器を構成することによって安定発振を可能とすることができる。

【0043】また、複屈折ファイバの固有軸を45度回転させて融着接続した場合には、完全には位相を補償することはできないが、固有軸間の相互作用を低減する効果がある。

【0044】さらに、本発明は、複屈折ファイバの先に偏光無依存ファイバを接続することが可能である。その場合、他の偏光無依存ファイバと治具により接続した時、モードフィールドの違いなどによる損失が少ないという利点がある。

【0045】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。

（実施形態例1）図1は本発明の実施形態例1を示す概要図である。図1において、半導体レーザモジュール1Aは、パッケージ2内に半導体レーザ素子2aとレンズ等からなる光結合手段2bを有している。

【0046】また、パッケージ2内には、半導体レーザ素子2aから出射された光を、光結合手段2bを介して受光する光ファイバ3aの一端（入射端）側が配置され、パッケージ2の外に延出されている。光ファイバ3aの他端側には光ファイバ3bが接続され、光ファイバ3bの他端には光コネクタ5が設けられている。

【0047】4は光ファイバ3aに設けられた反射部であり、ここではFBGである。反射部4は半導体レーザ素子2aと共に外部共振器を形成している。6は、光ファイバ3aと光ファイバ3aとを融着接続した接続部である。7は光ファイバ3aと光ファイバ3bとを融着接続した接続部である。なお、光結合手段2bは単体のレンズであってもよいし、楔形状などのレンズ形状をなした光ファイバ3aの端部であってもよい。

【0048】光ファイバ3aとして複屈折ファイバが使用される。複屈折ファイバとしては、コアに非軸対称性の応力を付与したものを選定する。例えば、図3（a）に示す、応力付与部が断面円形状であるバンダファイバ30a、断面扇状のボウタイファイバ30b、断面楕円状の楕円ジャケットファイバ30c等が使用される。なお、図3（a）において、斜線の部分は応力付与部である。

【0049】また、上記複屈折ファイバとして、図3（a）に示す、コアを楕円にした楕円コア光ファイバ30dが使用される。この楕円コア光ファイバは、コアの導波構造を非軸対称にした光ファイバである。

【0050】複屈折ファイバでは、導波構造や応力の非軸対称性を作ることによって、屈折率の大きい固有軸と屈折率の小さい固有軸が形成され、固有軸同士には屈折率の差、すなわち複屈折量 Δn が生じている。

【0051】また、光ファイバ3bとしては、偏光無依存ファイバ、例えば、SMF（single mode fiber）、DSF（dispersion sift fiber）、RDF（reverse dispersion fiber、古河電気工業株式会社製）等が使用される。

【0052】図3（b）は、複屈折ファイバの固有軸を回転して接続した状態を分かりやすくするために、複屈折ファイバの長手方向一部の断面を拡大して図示した説明図である。図3（b）に示すように、接続部6は、複屈折ファイバ同士を、固有軸を設定回転角度 θ （ $=90$ 度）回転した状態で、互いに長手方向一連続に接続して形成されている。

【0053】光ファイバ3aは、光ファイバ3aの一端（入射端）から接続部6までの長さを $L1$ とし、接続部6から反射部4の中心位置までの長さを $L2$ とし、反射部4の中心位置から接続部7までの長さを $L3$ としている。

【0054】また、光ファイバ3aは、光ファイバ3aの一端（入射端）から接続部6までの長さ $L1$ と接続部6から反射部4の中心位置までの長さ $L2$ との合計の長さを L としている。光ファイバ3bは接続部7からコネクタ5までの長さを $L4$ としている。

【0055】ここで本実施形態例1の具体例を以下に示す。光ファイバ3aとしてバンダファイバを使用しその長さを以下の値に設定し、反射部4をFBGとし、接続部6における回転角度 θ を以下の値に設定する。

（1）光ファイバ3aの一端（入射端）から接続部6までの長さ $L1$ および接続部6から反射部4の中心位置までの長さを $L2$ とし、 $L1$ および $L2$ を $L/2 \pm L/3$ 以内に設定した、 $L1 = 0.9m$ 、 $L2 = 1.2m$ とする。

（2）接続部6における回転角度 θ を 90 度 ± 10 度以内に設定した、 90 度とする。

（3） $|L1 - L2|$ を ΔL と定義し、 $\Delta L \neq 0$ のときに $1/\Delta L \leq 1/L3$ であることを満足する、 $L3 = 0.2m$ とする。

【0056】このような構成で半導体レーザ素子2aと反射部4の中心位置の間で形成される外部共振器でレーザ発振を行うと、接続部6で接続された光ファイバ3aと光ファイバ3aでそれぞれ固有軸Xと固有軸Yの位相差が生じるが、これら光ファイバ3a同士が略同じ長さであり、かつ、回転角度 $\theta = 90$ 度の状態で接続されているため、前記位相差がキャンセルされる。

【0057】また、 $1/\Delta L \leq 1/L3$ の条件も満たされているので、 $L3$ によっておこるピーク間隔 $\lambda^2/(2 \cdot \Delta n \cdot L3)$ が、 ΔL による間隔 $\lambda^2/(2 \cdot \Delta n \cdot \Delta L)$ よりも広くなる。よって光伝送方向側の光ファイバ端面からの反射の影響が少なくなる。よって、上記外部共振器におけるレーザ発振は時間的に安定する。

【0058】また、光ファイバ3aの先に、偏光無依存

ファイバである光ファイバ3bを介してコネクタ5が接続されているため、コネクタ5を他の一般的なコネクタ(図示せず)と接続した場合に、光ファイバのモードフィールドが一致する点で好ましい。

【0059】(実施形態例2) 図2は本発明の実施形態例2を示す概要図である。図2の半導体レーザモジュール1Bの特徴は、実施形態例1の半導体レーザモジュール1Aに設けられている光ファイバ3bを省いて直接光ファイバ3aの端部に光コネクタ5が設けられていることである。また、光ファイバ3aは反射部4の中心位置からコネクタ5までの長さをL3としている。その他の構成は半導体レーザモジュール1Aと同様に付き詳細な説明は省略する。

【0060】ここで本実施形態例2の具体例を以下に示す。光ファイバ3aとしてバンダファイバを使用しその長さを以下の値に設定し、反射部4をFBGとし、接続部6における回転角度 θ を以下の値に設定する。

(1) 光ファイバ3aの一端(入射端)から接続部6までの長さL1および接続部6から反射部4の中心位置までの長さをL2とし、L1およびL2を $L/2 \pm L/3$ 以内に設定した、L1=0.9m、L2=1.2mとした。

(2) 接続部6における回転角度 θ を90度 \pm 10度以内に設定した、90度とした。

(3) $|L1-L2|$ を ΔL と定義し、 $\Delta L \neq 0$ のときに $1/\Delta L \leq 1/L3$ であることを満足する、L3=0.2mとした。この例でも実施形態例1と同様に外部共振器のレーザ発振が安定した。

【0061】また、本実施形態例2では、光ファイバ3bを省いて直接光ファイバ3aの端部に光コネクタ5が設けられていることにより、光コネクタ5に、光ファイバ3aと同様の複屈折ファイバが設けられた他の光コネクタ(図示せず)が接続される場合に、光のモードフィールドが合うので好ましい。

【0062】なお、たとえば実施形態例1および実施形態例2の半導体レーザモジュール1A、1Bにおいて、L1およびL2を $L/2 \pm L/3$ 以内に設定した、L1=1.2m、L2=0.8mとし、接続部6の回転角度 θ を45度 \pm 10度以内に設定した、45度とすることも可能である。このとき、 θ を45度に設定することにより固有軸Xと固有軸Y間の相互作用を低減することができるので、好ましい。

【0063】(実施形態例3) 図4(a)は、本発明の実施形態例3を示す概要図である。図4(a)の半導体レーザモジュール1Cの特徴は、反射部として光コネクタ5を用いていることである。この場合、光コネクタ5の先、出射側には光ファイバ3aは存在せず、該光コネクタ5の先端から光の空間伝送を行う構成となっている。その他の構成は半導体レーザモジュール1Aと同様に付き詳細な説明は省略する。

【0064】ここで本実施形態例3の具体例を以下に示す。図4(a)の半導体レーザモジュール1Cにおいて、光ファイバ3aとしてバンダファイバを使用しその長さを以下の値に設定し、反射部を光コネクタ5とし、接続部6における回転角度 θ を以下の値に設定する。

(1) 光ファイバ3aの一端(入射端)から接続部6までの長さL1および接続部6から光コネクタ5までの長さをL2とし、L1およびL2を $L/2 \pm L/3$ 以内に設定した、L1=1m、L2=1.2mとした。

(2) 接続部6における回転角度 θ を90度 \pm 10度以内に設定した、90度とした。この例でも実施形態例1と同様に外部共振器のレーザ発振が安定した。

【0065】(実施形態例4) 図4(b)は本発明の実施形態例4を示す概要図である。図4(b)の半導体レーザモジュール1Dの特徴は、反射部としてファイバ切断面5Aを用いていることである。したがって、この場合光ファイバ切断面5Aの先、出射側には光ファイバ3aは存在しない。その他の構成は半導体レーザモジュール1Aと同様に付き詳細な説明は省略する。

【0066】本実施形態例の具体例を示す。図4(b)の半導体レーザモジュール1Dにおいて、光ファイバ3aとしてバンダファイバを使用しその長さを以下の値に設定し、反射部を光ファイバ切断面5Aとし、接続部6における回転角度 θ を以下の値に設定する。

(1) 光ファイバ3aの一端(入射端)から接続部6までの長さL1および接続部6から光ファイバ切断面5Aまでの長さをL2とし、L1およびL2を $L/2 \pm L/3$ 以内に設定した、L1=2.2m、L2=2mとする。

(2) 接続部6における回転角度 θ を90度 \pm 10度以内に設定した、90度とする。この例でも実施形態例1と同様に外部共振器のレーザ発振が安定した。

【0067】(実施形態例5) 本実施形態例は、図1、図2の半導体レーザモジュール1A、1Bにおいて、前記複屈折ファイバ3aの互いに屈折率が異なる2つの直交する固有軸をそれぞれX軸、Y軸としたとき、前記半導体レーザ素子から出た光が、光ファイバに入射し反射部で反射されて入射端に戻って来た際に、X軸偏光で入射しX軸偏光で戻ってきた光とY軸偏光で入射しY軸偏光で戻ってきた光の位相差の値 $\Delta\phi$ に特徴がある。すなわち、本実施形態例は、前記位相差の値 $\Delta\phi$ が、少なくとも光ファイバの複屈折量 Δn 、発振波長 λ から導かれる $4\pi \cdot \Delta n \cdot L/\lambda$ のピーク間隔を形成する位相差より小さいことを特徴とする。そのために光ファイバ3aとしてバンダファイバを使用しその長さを以下の値に設定し、反射部4をFBGとし、接続部6における回転角度 θ を以下の値に設定する。

(1) 光ファイバ3aの一端(入射端)から接続部6までの長さL1および接続部6から反射部4の中心位置までの長さをL2とし、L1=0.6m、L2=0.4m

とする。

(2) 接続部6における回転角度 θ を90度±10度以内に設定した、90度とする。

【0068】このような値に設定すると、 $L=L_1+L_2=1\text{m}$ 、 $\Delta L=|L_1-L_2|=0.2\text{m}$ となり、 $\Delta n=3\times 10^{-4}$ 、 $\lambda=980\text{nm}$ としたとき、

$$4\pi \cdot \Delta n \cdot L / \lambda \approx 3800$$

$$\Delta \Phi \approx 4\pi \cdot \Delta n \cdot \Delta L / \lambda \approx 770$$

となり、確かに $\Delta \Phi$ が $4\pi \cdot \Delta n \cdot L / \lambda$ より小さくなっている。このようにすると、前記位相差の値 $\Delta \Phi$ を小さくできるので、発振スペクトルに現れるピークをなくす若しくは非常に小さくすることができ、光の発振状態を安定化することができる。

【0069】(実施形態例6)本実施形態例では、図1、図2の半導体レーザモジュール1A、1Bにおいて、前記位相差の値 $\Delta \Phi$ を、半導体レーザ(素子)の屈折率 n_{10} 、半導体レーザ(素子)共振器長 L_{10} から導かれる $4\pi \cdot n_{10} \cdot L_{10} / \lambda$ の値の位相差より大きくしたことを特徴とする。そのために光ファイバ3aとしてバンダファイバを使用しその長さを以下の値に設定し、反射部4をFBGとし、接続部6における回転角度 θ を以下の値に設定する。

(1) 光ファイバ3aの一端(入射端)から接続部6までの長さ L_1 および接続部6から反射部4の中心位置までの長さを L_2 とし、 $L_1=11\text{m}$ 、 $L_2=1\text{m}$ とする。

(2) 接続部6における回転角度 θ を90度±10度以内に設定した、90度とする。

【0070】このような値に設定すると、 $\Delta L=|L_1-L_2|=10\text{m}$ となり、 $n_{10}=3.5$ 、 $L_{10}=800\mu\text{m}$ 、 $\lambda=980\text{nm}$ 、 $\Delta n=3\times 10^{-4}$ 、したとき、

$$4\pi \cdot n_{10} \cdot L_{10} / \lambda \approx 36000$$

$$\Delta \Phi \approx 4\pi \cdot \Delta n \cdot \Delta L / \lambda \approx 38000$$

となり、確かに $\Delta \Phi$ が $4\pi \cdot n_{10} \cdot L_{10} / \lambda$ より大きくなっている。このようにすると、前記位相差の値 $\Delta \Phi$ を非常に大きくすることができるので、該位相差の発振状態に対する影響を少なくすることができる。

【0071】(実施形態例7)本実施形態例では、図1、図2の半導体レーザモジュール1A、1Bにおいて、 L_1 、 L_2 、 L_3 又はそれらの加法減法のすべての組み合わせから計算される量で、次式で定義される量を L_x としたとき、

$$L_x = |P_1 L_1 \pm P_2 L_2 \pm P_3 L_3|$$

$$(P_i = 0 \text{ or } 1, \sum P_i \neq 0, i = 1, 2, 3)$$

$\lambda^2 / (2 \Delta n L_x)$ で表す、いわゆるビートによる全てのピーク間隔を持たないことを特徴とする。そのために光ファイバ3aにバンダファイバを使用しその長さを以下の値に設定し、反射部4をFBGとし、接続部6における回転角度 θ を以下の値に設定する。

(1) 光ファイバ3aの一端(入射端)から接続部6ま

での長さ L_1 および接続部6から反射部4の中心位置までの長さを L_2 とし、 $L_1=2\text{m}$ 、 $L_2=1\text{m}$ 、 $L_3=0.5\text{m}$ とする。

(2) 接続部6における回転角度 θ を90度±10度以内に設定した、90度とする。

【0072】このような値に設定すると、 $\lambda=980\text{nm}$ 、 $\Delta n=3\times 10^{-4}$ としたとき L_x は、 $L_x=0.5\text{m}$ 、 1m 、 1.5m 、 2m 、 2.5m 、 3m 、 3.5m という値を取り、そこからそれぞれ、 $\lambda^2 / (2 \cdot \Delta n \cdot L_x) \approx 3.2\text{nm}$ 、 1.6nm 、 1.1nm 、 0.80nm 、 0.64nm 、 0.53nm 、 0.46nm と計算されるピーク間隔を持たない。よってビートによる発振波長不安定化を防止することができる。

【0073】(実施形態例8)本実施形態例では、図2の半導体レーザモジュール1Bにおいて、光ファイバ3aとしてバンダファイバを使用し、その長さを以下の値に設定し、反射部を光コネクタ5とし、接続部6における回転角度 θ を以下の値に設定する。

(1) 光ファイバ3aの一端(入射端)から接続部6までの長さ L_1 および接続部6から反射部4の中心位置までの長さを L_2 とし、 L_1 および L_2 を $L/2 \pm L/3$ 以内に設定した、 $L_1=2\text{m}$ 、 $L_2=2.1\text{m}$ とする。

(2) 接続部6における回転角度 θ を90度±10度以内に設定した、90度とする。この例でも外部共振器のレーザ発振が安定した。

【0074】以上説明したように、上記各実施形態例1ないし8において、それぞれ半導体レーザモジュールからの出力強度を確認したところ、従来の半導体レーザモジュールにみられた $\lambda^2 / (2 \cdot \Delta n \cdot L)$ 間隔のピークが無く、各実施形態例のスペクトル代表図、図5に示すように、 λ_{FBG} で発振しているモードが高いモード抑圧比を保って安定に発振させることが確認できた。

【0075】また、上記実施形態例4または実施形態例8において、反射部として光コネクタ5または光ファイバ切断面5Aを使用した場合についても、接続部6における回転角度 θ を最適に設定すると、発振しているモードが高いモード抑圧比を保って安定に発振させることが確認できた。

【0076】なお、上記各実施形態例において複屈折ファイバの軸を中心にして回転させて接続するための具体的手段として、複屈折ファイバ同士を長手方向一連続に接続したものを示したが、本発明においては、光カブラのごとく横並びに接続したものであってもよい。

【0077】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の半導体レーザモジュールによれば、巻き方等の形状状態の変動に基づく、不安定な発振状態となる半導体レーザモジュールに対して、外部共振器を構成する光ファイバに複屈折ファイバを使用し、外部共振器の途中で複屈折ファイバの軸を中心にして設定角度回転させて接続することによ

って、外部共振器を有する半導体レーザ素子の発振モードが、高いモード抑圧比を保って安定に発振する半導体レーザモジュールが達成できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る半導体レーザモジュールの第1の実施形態を示す説明図である。

【図2】本発明に係る半導体レーザモジュールの第2の実施形態を示す説明図である。

【図3】(a)は、本発明に係る半導体レーザモジュールに用いられる複屈折ファイバの断面を示す説明図である。(b)は、本発明に係る半導体レーザモジュールの第2の実施形態を示す他の説明図である。

【図4】(a)は、本発明に係る半導体レーザモジュールの第3の実施形態を示す説明図である。(b)は、本発明に係る半導体レーザモジュールの第4の実施形態を示す説明図である。

【図5】本発明に係る半導体レーザモジュールの出力ス*

*ベクトル特性を示す説明図である。

【図6】従来の半導体レーザモジュールの一例を示す説明図である。

【図7】従来の半導体レーザモジュールの出力スペクトル特性を示す説明図である。

【符号の説明】

1A, 1B, 1C, 1D 半導体レーザモジュール

2 パッケージ

2a 半導体レーザ素子

2b 光結合手段

3a 複屈折ファイバ

3b 偏光無依存ファイバ

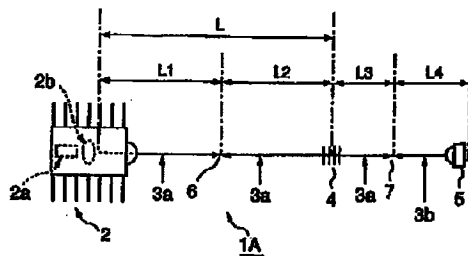
4 反射部

5 光コネクタ

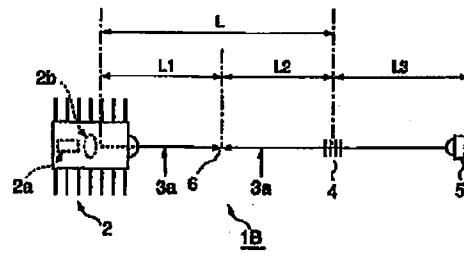
5A 光ファイバ切断面

6 接続部

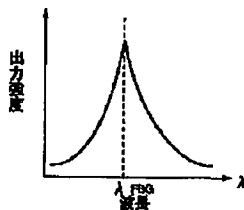
【図1】



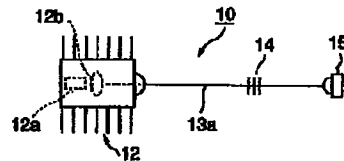
【図2】



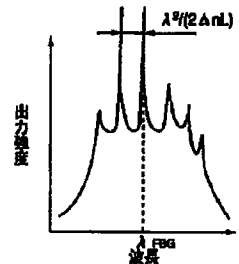
【図5】



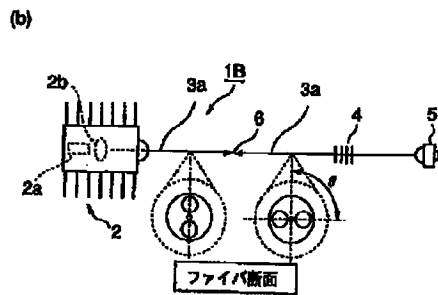
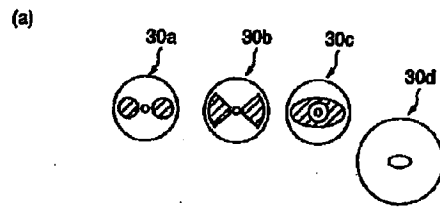
【図6】



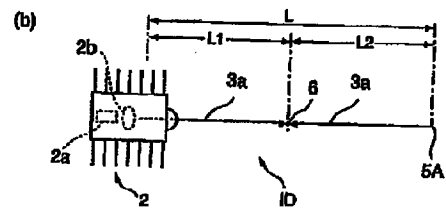
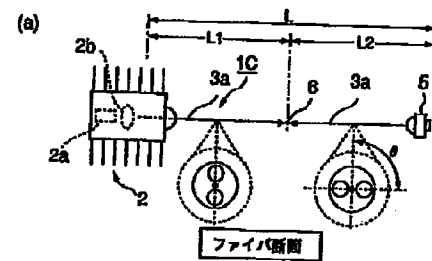
【図7】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(72)発明者 入江 雄一郎
東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古
河電気工業株式会社内

Fターム(参考) 2H037 AA01 BA03 CA01 CA03 CA33
2H050 AA07 AC44 AC84 AD16
5F073 AA65 AB27 AB28 EA03 EA15